Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 423-434

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۴۳۴-۴۲۳

بهینه‌سازی شاخص‌های عملکردی سوخت دیسترول در موتور دیزل به روش سطح پاسخ

گل محمد خوب بخت[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۶

چکیده

دیسترول اصطلاح جدیدی است که بیانگر ترکیب سوخت‌های دیزل فسیلی، بیودیزل و بیواتانول مشتق شده از گیاهان می‌باشد. در این تحقیق به بررسی تأثیر بار و سرعت موتور و همچنین درصدهای مختلف اختلاط سوخت‌های دیزل، بیودیزل و اتانول بر روی مشخصه‌های توان و گشتاور موتور دیزل OM 314 پرداخته شد. طراحی آزمایش‌ها با استفاده از روش آماری سطح پاسخ پایه‌ریزی شد و نقاط بهینه متغیرهای مستقل به‌منظور کمینه و یا بیشینه کردن سطوح پاسخ، به‌دست آمد. مدل‌های درجه دوم به‌دست آمده با استفاده از روش سطح پاسخ به‌منظور پیش‌بینی تأثیر متغیرهای ورودی بر روی سطوح پاسخ از لحاظ آماری (در سطح یک درصد) معنی‌دار بودند. نتایج نشان داد که درصدهای پایین بیودیزل و اتانول تقریباً توان و گشتاوری برابر با سوخت دیزل دارند ولی با افزایش غلظت این دو نوع سوخت در سوخت اختلاط یافته، میزان توان و گشتاور موتور کاهش می‌یابد. بیشترین میزان توان ترمزی (۷۹ کیلووات) در بار کامل (۱۰۰ درصد) و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه و برای سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_0E_0$) اتفاق افتاد. همچنین بیشترین میزان گشتاور برای سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_0E_0$) و در سرعت ۱۶۳۰ دور بر دقیقه در بار کامل (۱۰۰ درصد) و به میزان ۳۲۵ نیوتن متر به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: اتانول، بیودیزل، توان، سطح پاسخ، گشتاور

مقدمه

اخیراً بیشتر توجهات به توسعه سوخت‌های جایگزین معطوف شده است که علاوه بر کمک به اصلاح کیفیت هوا، باعث کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی که از منابع تجدیدناپذیر انرژی و به‌طور فزاینده‌ای گران می‌باشند، خواهد شد. الکل‌ها و به‌ویژه بیواتانول و استرها همانند بیودیزل، به‌عنوان سوخت‌های جایگزین انتخاب شده‌اند. نه تنها به‌خاطر اینکه از منابع تجدیدپذیر استخراج می‌شوند بلکه آنها دارای مقدار زیادی اکسیژن می‌باشند. بنابراین پتانسیل بسیار بالایی به‌منظور کاهش نشر ذرات ریز دارند. بیواتانول یک الکل می‌باشد که به‌علت سهولت تولیدش، هزینه پایین، سمیت پایین و همچنین به علت اینکه از منابع تجدیدپذیر به‌دست می‌آید، اغلب به‌عنوان یک سوخت جایگزین مناسب انتخاب می‌شود (Pang *et al.*, 2008; Lapuerta *et al.*, 2007; Shi *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 1999). Bettis و همکاران (۱۹۸۲) در مورد استفاده از روغن‌های آفتاب‌گردان، گل رنگ و کلزا به‌عنوان سوخت مایع مطالعاتی انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که توان خروجی موتورهای تراکمی از این سوخت‌ها همانند سوخت‌های دیزلی می‌باشد. اما با مشکل شدید پایداری دراز مدت که منجر به تقطیر تخریبی می‌شد مواجه شدند. مقایسه بین بیودیزل حاصل از روغن آفتاب‌گردان و سوخت‌های دیزلی در حالت‌های تمام بار، بارکم و سرعت‌های مختلف موتور، در یک موتور ۲/۵ کیلووات توسط Kapilan و همکاران (۲۰۰۹) انجام گرفت. آنها به این نتیجه رسیدند که استفاده از بیودیزل در موتور دیزل، کاهش ناچیزی از توان ترمزی و افزایش ناچیز مصرف سوخت را به دنبال دارد. Usta در سال ۲۰۰۵ از روغن دانه توتون به‌عنوان سوخت دیزل استفاده کرد و یک افزایش در گشتاور و توان ملاحظه کرد (با پایین‌ترین ارزش گرمای ۳۹/۸MJ kg^{-1}). نویسنده چندین مخلوط آزمایشی با سوخت دیزل را در یک موتور دیزلی ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ rpm مورد آزمایش قرار داد، بیشترین مقدار گشتاور و توان در یک مخلوط ۱۷/۵٪ ثبت شد، علی‌رغم اینکه ارزش گرمایی بیودیزل کاهش پیدا کرد. Kapilan و همکاران (۲۰۰۶) از کاهش ۵ تا ۱۰٪ گشتاور و توان به‌ویژه در حالت تمام بار خبر دادند. کاهش توان نزدیک به ۵٪ در سرعت پایین و ۱۰٪ در سرعت بالا بود.

Zenouzi و همکاران (۲۰۰۸) تغییر عملکرد موتور شش سیلندر

۱- استادیار، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: gol.m1360@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jam.v8i2.62389

پرکینز را در حالت تمام بـار بـا اسـتفاده از اخـتلاط سـوخت بیـودیزل حاصل از روغن پسماند و دیزل مورد بررسی قرار دادنـد. نتـایج نشـان داد که با اضافه کردن بیودیزل به سـوخت دیـزل، بـه دلیـل احتـراق کامل، میزان توان و گشتاور موتور افزایش می‌یابـد و بـا افـزایش ۲۵ درصد بیودیزل به سوخت دیزل، عملکرد موتور بدون هیچ‌گونه تغییر و اصلاحی در اجـزای آن بهبـود مـی‌یابـد. Hansen و Zhang (۲۰۰۳) عملکرد موتور دیزل کامینز[1] را با سوخت ۱۵ درصد ED مورد بررسـی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که توان موتور در حـدود ۷ الـی ۱۰ درصد کاهش می‌یابد و بازده گرمایی حدود ۲ الی ۳ درصد در سـرعت مجاز افزایش مـی‌یابـد. Kass و همکـاران (۲۰۰۱) گشـتاور خروجـی همان مدل موتور را با دو مخلوط ۱۰ و ۱۵ درصد اتانول مورد آزمایش قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که توان موتور نزدیک بـه ۸ درصـد برای هر دو نـوع سـوخت کـاهش مـی‌یابـد. رحیمـی و همکـاران در تحقیقی در سال ۲۰۰۹، به بررسی مشخصه‌های فیزیکـی و شـیمیایی سوخت‌های حاصل از اختلاط دیـزل بـا بیواتـانول حاصـل از بقایـای سیب‌زمینی و متیل استر حاصل از آفتاب‌گردان پرداختنـد و عملکـرد و آلایندگی ایـن سـوخت‌هـا را بـر روی یـک موتـور دیـزل دو سـیلندر (Ruggerini– RD270) هوا– خنک، در سرعت‌هـای مختلـف و بـار کامل مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجـه رسـیدند کـه میـزان گوگرد سوخت دیسترول با افزایش اختلاط اکسیژن‌دار کاهش می‌یابـد و توان و گشتاور تولیدی با استفاده از سوخت دیسترول و دیزل خیلـی نزدیک به هم بود. Al-Hassan و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی که بـر روی یـک موتـور دیـزل– تـک سـیلندر– چهـار زمانـه و بـا اخـتلاط سوخت‌های دیزل– بیودیزل– اتانول (DBE) که حـاوی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حجمی اتانول و ۱۰ درصد ثابت بیودیزل انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان سرعت، توان ترمزی نیـز افـزایش یافت (برای تمام سوخت‌هـا). در مقایسـه بـا سـوخت دیـزل متـداول، اختلاط شامل ۵ درصد اتانول (DBE_5) توان یکسانی را ایجـاد کـرد و برای درصدهای بالای اتانول (بالاتر از ۵ درصد) توان موتـور کـاهش یافت. باوفا و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد موتور تراکتورMF-399 را بـا استفاده از مخلوط‌های ۵ تا ۲۰ درصد بیودیزل و دیزل مورد آزمـون و ارزیابی قرار دادند. آزمایش‌ها نشـان داد کـه گشـتاور و تـوان موتـور مذکور توسط این ترکیبات افزایش می‌یابد و دلیـل ایـن موضـوع بـه خاطر به سوزی بیودیزل در اثر اکسیژن‌دار بودن آن بود.

مواد و روش ها

بستر آزمون آزمایش‌ها

شکل ۱ مجموعه تجهیزات استفاده شده در آزمایش کوتـاه مـدت موتور را نمایش می‌دهد. این مجموعه شامل موتور دیـزل OM 314، دینامومتر، دستگاه‌های آلاینده‌سنج، پانل کنترلـی دینـامومتر، صـفحه نمایشگر متصل به پانل کنترلـی دینـامومتر و سـامانه سـوخت‌رسـانی می‌باشد.

موتور تحت آزمایش

موتور تحت آزمایش در این تحقیق، موتور چهـار سـیلندر دیزلـی پاشش مستقیم مدل OM 314 از تولیدات شرکت ایدم تبریز می‌باشد که تحت لیسانس شرکت دایلمر آلمان سـاخته شـده اسـت. شـکل ۲ نمایی از موتور مورد نظـر را نشـان مـی‌دهـد. در ایـن تحقیـق بـرای اندازه‌گیری توان و گشتاور ترمـزی موتـور تحـت بـار و سـرعت‌هـای مختلف موتور از دینامومتر استفاده شد. در ایـن تحقیـق از دینـامومتر جریان گردابی (فرومغناطیسی[2]) مدل E400 که در بین دینامومترهای مختلف دارای دقت بالایی می‌باشد، استفاده شد. در شکل۳ دینـامومتر مورد استفاده شده نشان داده شده است.

توان موتور

توان به‌عنوان آهنگ انجام کار تعریف می‌شود. بـه‌عبـارت دیگـر، مقدار کاری است که در واحد زمان انجام می‌گیرد. مقدار توان موجـود در چرخ لنگر موتور که توان ترمزی نیز نامیده مـی‌شـود از رابطـه (۱) محاسبه می‌شود. در این رابطه P توان موتور در چرخ لنگر بـر حسـب کیلو وات، T گشتاور موجود در چرخ لنگر بر حسـب نیـوتن متـر و N دور موتور بر حسب دور در دقیقه (rpm) می‌باشد.

$$P = \frac{2\pi TN}{60000} \qquad (۱)$$

در این تحقیق سوخت بیودیزل مورد آزمایش از روغن کلـزا تهیـه شده بود و اتانول مورد نیاز نیز از شرکت بیدستان قزوین تهیه گردید.

طراحی آزمایش‌ها

در این تحقیق بـا توجـه بـه اینکـه آزمـایش‌هـای مـورد مطالعـه هزینه‌بر و وقت‌گیر بوده و همچنین داده‌های آزمون نیاز به بهینه‌سازی داشتند از روش سطح پاسخ که یکـی از روش‌هـای طراحـی آزمـایش می‌باشد، استفاده شد. در روش سطح پاسخ بـرای هـر متغیـر مسـتقل حداقل سه سطح نیاز است تا بتوان تأثیرات متغیرها را بر پاسـخ مـدل کرد. طرح مورد استفاده در این رساله بـه نـام طـرح مرکـب مرکـزی می‌باشد که بیشترین کاربرد در میان طرح های روش سـطح پاسـخ را به خود اختصاص داده است (Abdul-Halim *et al*., 2009).

1- Cummins

2- Ferromagnetism



شکل ۱- بستر آزمون موتور
Fig. 1. Engine test cell



شکل۲- موتور مورد آزمایش OM 314
Fig. 2. Tested engine OM 314



شکل۳- دینامومتر مورد استفاده در بستر آزمون موتور
Fig. 3. Dynamometer used to test the engine

طرح مرکب مرکزی با انتخاب صحیح پارامتر α (سطح فاکتور) برای نقاط محوری، دوران‌پذیر شده و در آن برای هر متغیر پنج سطح تعیین می‌شود. در واقع سطوح مشخص شده به‌صورت بازده (α) تا (α-) تعریف می‌شوند که در آن حدود کمینه و بیشینه با کد سطح‌های (۱) و (۱-) مشخص شده و سطح پنجم نیز به‌عنوان سطح مرکزی یا صفر (۰) در نظر گرفته می‌شود.

متغیرهای مستقل در این تحقیق عبارتند از نسبت‌های مختلف سوخت‌های اتانول، بیودیزل و دیزل، بار و سرعت موتور و پاسخ‌های مورد نظر نیز شامل توان و گشتاور موتور می‌باشد. بر اساس طرح مرکب مرکزی سطوح متغیرهای مستقل بر اساس مقادیر کد شده صفر، ۱±، α± انتخاب می شود. α برابر مجذور تعداد متغیرهای مستقل می‌باشد که در این تحقیق برابر ۲ می‌شود. در جدول ۱ متغیرهای مستقل به‌همراه سطوح کد شده و کد نشده برای آزمون موتور ارائه شده است. تعداد آزمایش‌ها برای هر یک از روش‌ها از معادله (۲) به‌دست می‌آید.

$$n = 2^k + (2 \times k) + n_0 \qquad (۲)$$

که در آن n_0، تعداد تکرار در نقطه مرکزی و k تعداد متغیرهای مستقل می‌باشد.

معادله مدلی که از طرح مورد اجرا به دست خواهد آمد برای هر یک از پاسخ‌ها به شکل زیر است (Castillo, 2007):

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^{4} a_i x_i + \sum_{i=1}^{4}\sum_{j=i}^{4} a_{ij} x_i x_j \qquad (۳)$$

که در آن y، پاسخ پیش‌بینی شده (توان ترمزی موتور و گشتاور)، x_i و x_j متغیرهای مستقل کد شده، a_0، a_i و a_{ij} ضرایب مدل می‌باشند. پیش‌بینی معادلات مربوط روش سطح پاسخ با استفاده از روش حداقل مربعات حل می‌شود. این روش یک روش رگرسیونی چندگانه است.

جدول ۱- کدگذاری سطوح متغیرهای مستقل در روش مورد مطالعه

Table 1- Coded levels of the independent variables in the study method

متغیر مستقل Independent variables	سطوح کد شده متغیرها Variable levels				
	-2	-1	0	1	2
نسبت بیودیزل به دیزل (لیتر) Biodiesel/diesel ratio (L)	0:1	0.2:1	0.4:1	0.6:1	0.8:1
نسبت اتانول به دیزل (لیتر) Ethanol/diesel ratio (L)	0:1	0.1:1	0.2:1	0.3:1	0.4:1
سرعت موتور (دور بر دقیقه) Engine speed (rpm)	1000	1450	1900	2350	2800
بار موتور (درصد) Engine load (%)	20	40	60	80	100

نتایج و بحث

توان ترمزی موتور

تجزیه واریانس برای مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار برای مشخصه توان ترمزی موتور به‌صورت جدول ۲ می‌باشد. مقادیر P-value برای مدل‌های کلی و پیش‌بینی هر دو کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد و این نشان می‌دهد که این این مدل‌ها از لحاظ آماری قابلیت پیش‌بینی تأثیرات متغیرهای مستقل را با خطای کمتر از یک درصد روی توان ترمزی دارند. مقادیر P-value برای عبارت‌های مدل به تفکیک پارامترهای بیودیزل، اتانول، سرعت و بار موتور در این جدول ارائه شده است. عبارت‌هایی که مقدار P-value آنها کمتر از ۰/۰۵ باشد وارد مدل نمی‌شود. جدول ۲ نشان می‌دهد که فاکتورهای خطی اتانول، بیودیزل، سرعت و بار موتور تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر روی توان ترمزی داشتند و با توجه به ضرایب این عبارات، بیودیزل و اتانول بر روی توان ترمزی تأثیر منفی داشتند یعنی با افزایش مقادیر این دو متغیر توان ترمزی کاهش می‌یافت از طرف دیگر سرعت دورانی و بار موتور یک تأثیر مستقیم و هم‌جهت با توان ترمزی دارند به‌طوری‌که با افزایش هر یک از این متغیرها میزان توان ترمزی افزایش می‌یابد. تمام عبارت‌های درجه دوم نیز وارد مدل شده‌اند. این نشان می‌دهد که این عبارت‌ها قابلیت پیش‌بینی تأثیرات مرتبه دوم کلیه متغیرهای مستقل را روی توان ترمزی دارند به‌طوری‌که تمام جملات مرتبه دوم رابطه معکوس با توان ترمزی موتور دارند. از میان عبارت‌های متقابل (ضریب بین دو متغیر) بین متغیرهای بیودیزل و اتانول، سرعت و بار رابطه معنی‌داری وجود دارد و وارد مدل پیش‌بینی می‌شوند. در حالی‌که بقیه عبارت‌ها رابطه معنی‌داری با میزان توان ترمزی نداشته و وارد مدل نمی‌شوند. علامت مثبت برای ضرایب عبارت‌ها یک تأثیر مستقیم و هم‌جهت و همچنین علامت منفی یک رابطه عکس را بین عبارت و توان ترمزی نشان می‌دهد.

مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده[1] برای مدل پیش‌بینی به‌ترتیب ۹۸/۸۶٪ و ۹۷/۸۲٪ بود. مقدار بالای R^2 نشان می‌دهد که یک وابستگی و همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده توان ترمزی وجود دارد. همچنین نشان می‌دهد که مدل ارائه شده می‌تواند ۹۸/۸۶٪ کل تغییرات توان ترمزی را در شرایط مورد آزمایش تشریح و پیش‌بینی کند. مدل به‌دست آمده بر اساس داده‌های کد نشده در رابطه (۴) نشان داده شده است که در آن P بیانگر توان ترمزی موتور بر حسب کیلو وات، B نشان‌دهنده نسبت حجمی بیودیزل در مخلوط سوخت، E بیانگر نسبت حجمی اتانول در مخلوط سوخت، S سرعت موتور بر حسب دور در دقیقه و L بار موتور بر حسب درصد می‌باشد. علامت مثبت ضرایب نشان می‌دهد که عبارت مربوطه یک تأثیر هم‌جهت بر توان ترمزی موتور داشته است و علامت منفی نشان‌دهنده یک تأثیر معکوس بر توان ترمزی موتور را بازگو می‌کند. مقدار ثابت مدل پیش‌بینی بر اساس طرح کد شده برابر ۳۹/۴۹۳۵۳ برای توان ترمزی موتور می‌باشد.

تأثیر ترکیب بیودیزل و اتانول بر روی توان ترمزی

با توجه به شکل ۴ با افزایش میزان بیودیزل، توان ترمزی نسبت به سوخت گازوییل کاهش پیدا می‌کند. علت این امر به دو عامل مربوط می‌شود اول اینکه با افزایش درصد بیودیزل در سوخت ترکیبی به دلیل پایین بودن ارزش گرمایی بیودیزل نسبت به سوخت دیزل، ارزش گرمایی سوخت اختلاطی کاهش پیدا می‌کند از طرف دیگر به‌دلیل بالا بودن ویسکوزیته بیودیزل نسبت به دیزل با افزایش میزان این سوخت در ترکیب این ویژگی تقویت شده و اتمیزه شدن سوخت در هنگام پاشش با مشکل مواجه خواهد شد. به‌طورکلی برآیند این دو عامل مانع از ایجاد احتراقی مناسب و مطلوب گشته و توان ترمزی تا حدودی کاهش می‌یابد (Utlu *et al*., 2008; Carraretto *et al*.,

1- Adjusted R^2

.(2004; Canakci *et al*., 2009

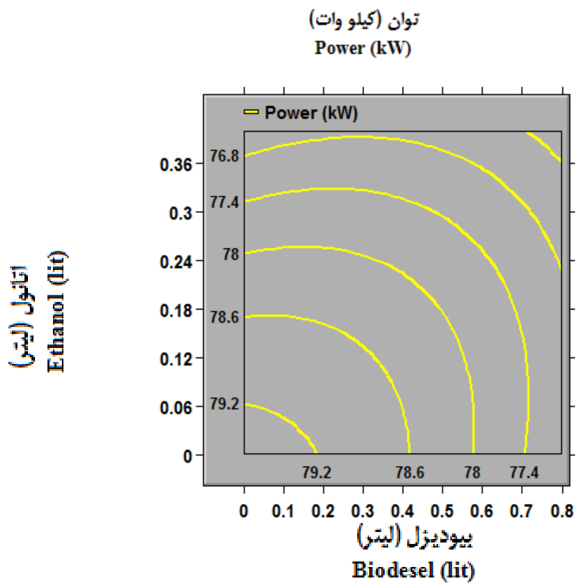
$$P = -35.327 - 0.702336B - 2.991589E + 0.034666S + 0.316142L - 3.108694B^2 + 6.419687BE - 11.18478E^2 - 9.079S \times 10^{-6} + 0.000262SL - 0.00161L^2 \quad (۴)$$

جدول ۲- تجزیه واریانس مدل‌های کلی و پیش‌بینی توان ترمزی موتور

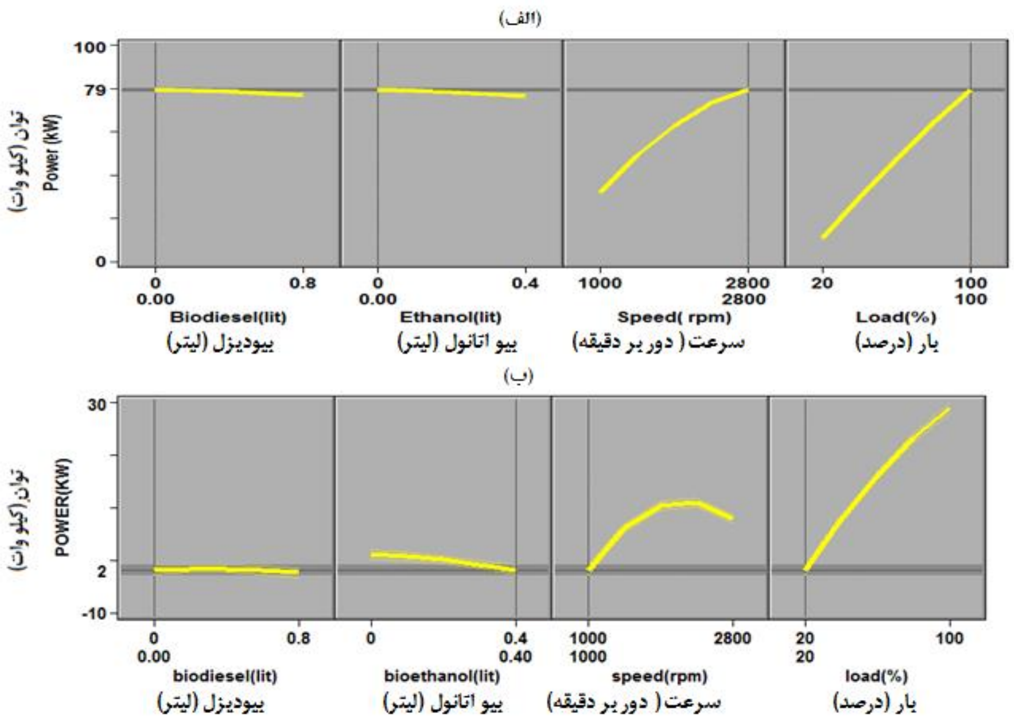
Table 2- Analysis of variance the total and predictive models of Brake power engine

منبع (Sourse)	درجه آزادی (DF)	ضریب (Estimate)	مجموع مربعات (SS)	F	P-value
مدل کلی (Master model)	14	-	5127.795	7897.321	-
بیودیزل (Biodiesel)	1	-0.76214	3.48516	75.14496	0.0001
اتانول (Ethanol)	1	-0.97952	5.756815	124.1251	0.0001
سرعت دورانی (Spead)	1	14.29639	1226.321	26441.21	0.0001
بار (Load)	1	24.83144	3699.603	79768.66	0.0001
بیودیزل × بیودیزل (Biodiesel × Biodiesel)	1	-0.49739	0.442158	9.533549	0.00706
بیودیزل × اتانول (Biodiesel× Ethanol)	1	0.513575	0.263759	5.687022	0.02981
بیودیزل × سرعت (Biodiesel× Spead)	1	0.236425	0.055897	1.205214	0.9583
بیودیزل × بار (Biodiesel× Load)	1	0.03642	0.001327	0.028607	0.2424
اتانول × اتانول (Ethanol× Ethanol)	1	-0.44739	0.357731	7.713176	0.013458
اتانول × سرعت (Ethanol× Spead)	1	-0.01143	0.000131	0.002814	0.9583
اتانول × بار (Ethanol× Load)	1	0.261425	0.068343	1.473572	0.2424
سرعت × سرعت (Spead× Spead)	1	-7.35439	96.66625	2084.261	0.0001
سرعت × بار (Spead× Load)	1	9.432675	88.97536	1918.434	0.0001
بار × بار (Load× Load)	1	-2.57589	11.85868	255.6899	0.0001
مدل پیش‌بینی (Predictive model)	10	-	5127.669	11818.444	0.0001
اشتباه (Error)	20	-	0.867764	-	-
عدم تناسب (Lack of fit)	14	-	0.675478	1.505523	0.320152
اشتباه خالص (Pure Error)	6	-	0.192286	-	-
کل (Total)	30	-	5128.537	-	-

با افزایش میزان اتانول در سوخت ترکیبی نیز میزان توان ترمزی در تمام شرایط کاری موتور کاهش پیدا می‌کند. با افزایش میزان غلظت اتانول به دلیل پایین بودن عدد ستان اتانول، عدد ستان سوخت اختلاط یافته نیز کاهش پیدا می‌کند در نتیجه دمای احتراق و گرمای نهان تبخیر سوخت ترکیبی افزایش می‌یابد (گرمای نهان تبخیر اتانول بالاتر از دیزل و بیودیزل می‌باشد) بنابراین موجب تأخیر در اشتعال می‌گردد و فرآیند احتراق ممکن است به داخل مرحله انبساط کشیده شود و سوخت به‌طور کامل سوزانده نمی‌شود همچنین مقداری از انرژی سوخت صرف تبخیر سوختی با گرمای نهان تبخیر بالا می‌گردد بنابراین توان موتور کاهش می‌یابد. دلیل دیگر کاهش توان می‌تواند به کاهش ارزش گرمایی اختلاط به دلیل پایین بودن ارزش گرمایی اتانول نسبت سوخت دیزل ربط داشته باشد (Rahimi *et al*., 2009; Al-Hassan *et al*., 2012; Can *et al*., 2004). به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که درصدهای پایین بیودیزل و اتانول تقریباً توانی برابر با سوخت دیزل دارند و این ممکن است به‌خاطر بهبود شرایط احتراق به‌واسطه مولکول‌های اکسیژن‌دار بیودیزل و اتانول باشد و پایینی عدد ستان اتانول تا حدودی به‌خاطر بالا بودن عدد ستان بیودیزل بهبود می‌یابد اما به‌تدریج با افزایش غلظت این دو نوع سوخت در سوخت اختلاط یافته، ارزش گرمایی پایین بیودیزل و اتانول و همچنین عددستان پایین اتانول و چگالی بالای بیودیزل بر مشخصه مفید این دو نوع سوخت یعنی بالا بودن میزان اکسیژن سوخت غلبه کرده و شرایط را برای کاهش توان فراهم می‌آورد.



شکل ٤– نقشه تراز تأثیر متغیرهای نسبت حجمی بیودیزل و اتانول بر روی توان ترمزی در سرعت (rpm)۱۸۰۰ و بار کامل
Fig. 4. Contour plats of the effects of volume ratio of biodiesel and ethanol on brake power in full load and 2800 rpm



شکل ۵– بهینه‌سازی متغیرهای مستقل به‌منظور حداکثر (الف) و حداقل (ب) نمودن توان ترمزی و رابطه این متغیرها با توان ترمزی
Fig. 5. The optimum points of experimental variables to (a) maximize the specific fuel consumption and (b) minimize the brake power of engine

بهینه‌سازی توان ترمزی موتـور بـرای پارامترهـای میـزان بیودیزل، اتانول، سرعت و بار

با توجه به شکل ۵ بیشترین میزان توان ترمزی (۷۹ کیلو وات) در بار کامل (۱۰۰ درصد) و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه و بـرای سـوخت دیزل خالص ($D_{100}B_0E_0$) اتفاق افتاد. همچنین کمترین میـزان تـوان ترمزی در سوخت اختلاط‌یافته ۰/۴ لیتر اتانول در یـک لیتـر سـوخت دیزل ($D_{72}B_0E_{28}$) و بار اعمالی ۲۰ درصد و سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و به میزان دو کیلو وات به‌دست آمد. همان‌طور که در شـکل ۵ مشاهده می‌شود از بـین متغیرهـای مسـتقل مشخصـه‌هـای بـار و سرعت بیشترین میزان تأثیر را بر روی تـوان ترمـزی موتـور دارنـد و تأثیر نوع سوخت بر روی توان ترمزی نسبت به دو متغیر بار و سرعت موتور کمتر می‌باشد.

گشتاور ترمزی موتور

همانطور که در جـدول ۳ مشـاهده مـی‌شـود مـدل‌هـای کلـی و پیش‌بینی این مشخصه از لحاظ آماری معنی‌دار بوده و قابلیت بـرآورد تأثیرات متغیرهای مستقل را روی گشـتاور ترمـزی موتـور بـا خطـای کمتر از ۰/۰۵ دارند. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود کلیـه ضرایب عبارت‌های خطی با سطح معنی‌داری بسیار بـالایی وارد مـدل پیش‌بینی شده به‌طوری‌که به‌جز بار اعمالی به موتور که رابطه مستقیم با گشتاور ترمزی دارد بقیه جملات مرتبه اول رابطه معکوس بـا ایـن مشخصه دارند. کلیه جملات درجه دوم نیز با P-value کمتر از ۰/۰۵ از لحاظ آماری قابلیت ورود به مدل پیش‌بینی گشتاور ترمزی را دارند. کلیه این جملات اثر معکوس بر روی گشـتاور موتـور دارنـد. از میـان جملات اثر متقابل تنها بین جملات بیودیزل× اتانول و سرعت× بار از لحاظ آماری رابطه معنی‌داری وجود دارد بنابر این وارد مدل پیش‌بینی می‌شوند. P-value بقیه جملات بزرگتر از ۰/۰۵ می‌باشـد بنـابراین از لحاظ آماری اعتبار لازم را برای ورود به مدل پیش‌بینی ندارند.

جدول ۳- تجزیه واریانس برای مدل‌های پیش‌بینی شده و کلی گشتاور موتور

Table 3- Analysis of variance the total and predictive models of Torque

منبع (Sourse)	درجه آزادی (DF)	ضریب (Estimate)	مجموع مربعات (SS)	F	P-value
مدل کلی (Master model)	14	-	100208	2608.388	0.0001
بیودیزل (Biodiesel)	1	-3.625	78.84375	28.73085	0.0001
اتانول (Ethanol)	1	-5.125	157.5937	57.42755	0.0001
سرعت دورانی (Spead)	1	-13.375	1073.344	391.1291	0.0001
بار (Load)	1	126.725	96355.35	35112.13	0.0001
بیودیزل × بیودیزل (Biodiesel × Biodiesel)	1	-2.7875	13.88709	5.060489	0.0389
بیودیزل × اتانول (Biodiesel× Ethanol)	1	3.675	13.50563	4.921483	0.0413
بیودیزل × سرعت (Biodiesel× Speed)	1	2.875	8.265625	3.012014	0.1019
بیودیزل × بار (Biodiesel× Load)	1	-0.025	0.000625	0.000228	0.9881
اتانول × اتانول (Ethanol× Ethanol)	1	-3.0375	16.48975	6.008904	0.0261
اتانول × سرعت (Ethanol× Speed)	1	3.125	9.765625	3.558618	0.0775
اتانول × بار (Ethanol× Load)	1	0.925	0.855625	0.311792	0.5843
سرعت × سرعت (Speed× Speed)	1	-35.2875	2225.478	810.9694	0.0001
سرعت × بار (Speed× Load)	1	-12.975	168.3506	61.34738	0.0001
بار × بار (Load× Load)	1	-11.4875	235.8482	85.94314	0.0001
مدل پیش بینی (Predictive model)	10	-	100189.1	3190.989	0.0001
اشتباه (Error)	20	-	62.795	-	-
عدم تناسب (Lack of fit)	14	-	58.795	6.299464	0.0162
اشتباه خالص (Pure Error)	6	-	4	-	-
کل (Total)	30	-	100251.9	-	-

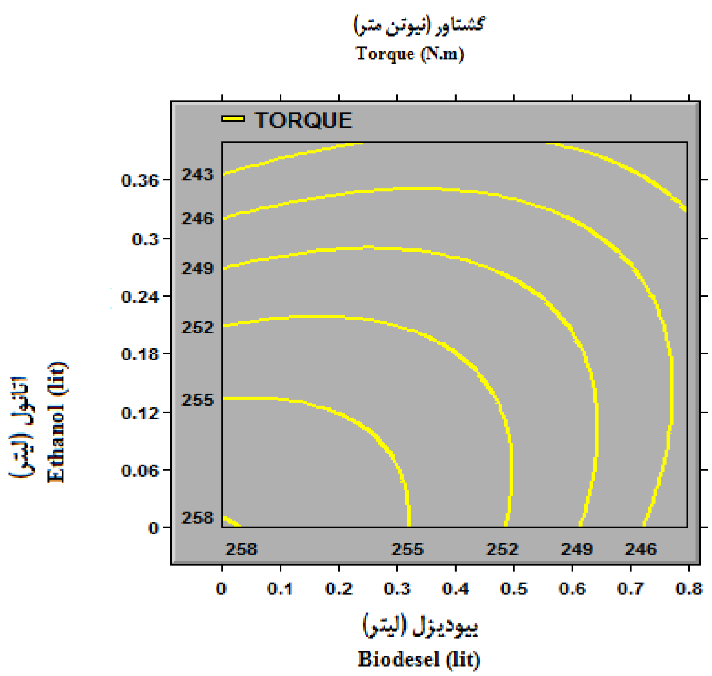
مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده برای مدل پیش‌بینی به‌ترتیب ۹۹/۹۴ و ۹۹/۹۱ می‌باشد که نشان می‌دهد یک همبستگی بسیار بالایی بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی گشتاور ترمزی وجود دارد به‌طوری‌که مدل پیش‌بینی قادر است ۹۹/۹۴٪ کل تغییرات گشتاور ترمزی را در شرایط مورد آزمایش تشریح و پیش‌بینی کند. مدل به‌دست آمده بر اساس داده‌های کد نشده عبارت است از:

$$T = -181.363 - 4.319333B - 13.62935E + 0.172246S + 4.714634L - 17.43938B^2 + 45.93932BE - 76.01982E^2 - 0.000044S^2 - 0.00036SL - 0.007192L^2 \quad (۵)$$

که در آن T بیانگر گشتاور ترمزی موتور بر حسب نیوتن‌متر (N.m)، B نشان‌دهنده نسبت حجمی بیودیزل در مخلوط سوخت، E بیانگر نسبت حجمی اتانول در مخلوط سوخت، S سرعت موتور بر حسب دور در دقیقه و L بار موتور بر حسب درصد می‌باشد. مقدار ضریب ثابت مدل کد شده برابر با ۱۹۸ می‌باشد.

تأثیر غلظت بیودیزل و اتانول بر روی گشتاور ترمزی

با توجه به شکل ۶ با افزایش درصد حجمی بیودیزل در سوخت ترکیبی گشتاور ترمزی موتور نسبت به سوخت دیزل در تمام شرایط کاری موتور کاهش می‌یابد. علت این کاهش پایین بودن ارزش گرمایی بیودیزل نسبت به سوخت دیزل می‌باشد از طرف دیگر چگالی و گرانروی بالای سوخت بیودیزل که مانع از ریزسازی مطلوب سوخت می‌گردد نیز می‌تواند موجب کاهش گشتاور گردد (Utlu and Kocak, 2008; Ozsezen and Canakci, 2009). همچنین با افزایش غلظت اتانول در سوخت ترکیبی گشتاور ترمزی موتور کاهش می‌یابد علت این کاهش علاوه بر پایین بودن ارزش گرمایی اتانول نسبت به سوخت دیزل به پایین بودن عدد ستان و گرمای نهان تبخیر بالای اتانول ممکن است مربوط باشد چراکه مقدار از انرژی سوخت صرف تبخیر اتانول گشته و به دلیل تأخیر در اشتعال احتراق بازده احتراق کاهش می‌یابد (Rahimi *et al.*, 2009). پس به‌طور کلی افزایش میزان سوخت‌های اکسیژن‌دار بیودیزل و اتانول باعث کاهش گشتاور گشته که بیواتانول در این بین سهم بیشتری را به‌خود اختصاص داده است.



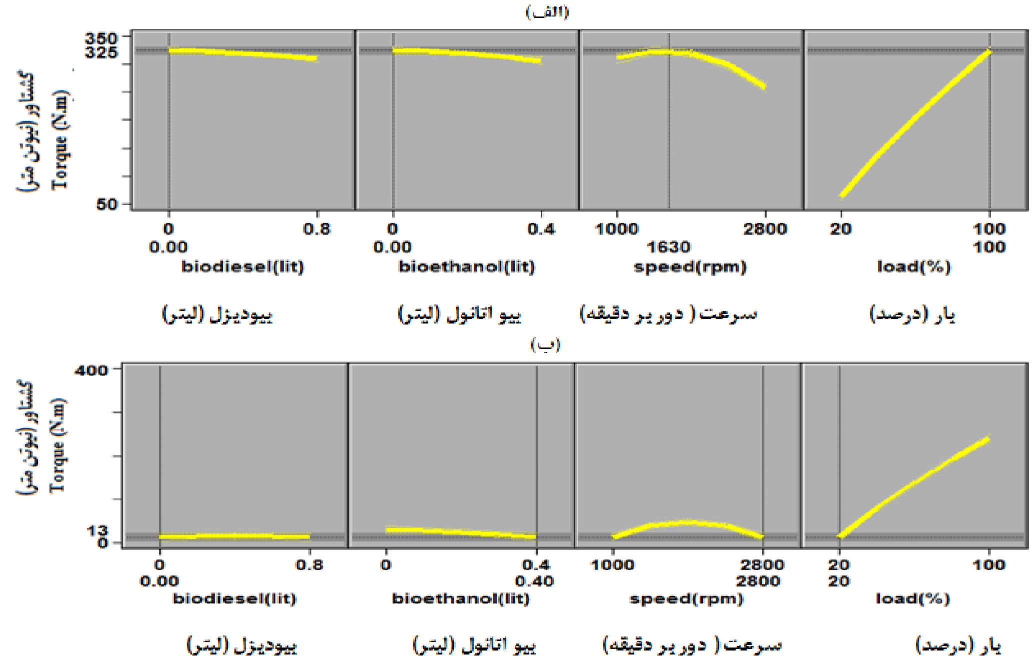
شکل ٦- نقشه تراز تأثیر متغیرهای نسبت حجمی بیودیزل و اتانول بر روی توان ترمزی در سرعت (rpm)۱۸۰۰ و بار کامل

Fig. 6. Contour plats of the effects of volume ratio of biodiesel and ethanol on t0rque in full load and 2800 rpm

بهینـــه‌ســازی گشــتاور موتــور بــرای پارامترهــای میــزان بیودیزل، اتانول، سرعت و بار

با توجه به شکل ۷ بیشترین میزان گشتاور ۳۲۵ نیوتن‌متر به‌دست آمد که برای سوخت دیـزل خـالص ($D_{100}B_0E_0$) و در سـرعت ۱۶۳۰ دور بر دقیقه بار کامل (۱۰۰ درصد) اتفـاق افتـاد. همچنـین کمتـرین میزان توان ترمزی به میزان ۳ نیوتن متر در ترکیب سـوختی اخـتلاط یافته ۰/۴ لیتر اتانول در یک لیتـر سـوخت دیـزل ($D_{72}B_0E_{28}$) و بـار اعمالی ۲۰ درصد و سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به‌دسـت آمـد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود از بـین متغیرهـای مسـتقل مشخصه‌های بار و میزان اتانول در سوخت ترکیبـی بیشـترین میـزان تأثیر را بر روی گشتاور موتور دارند.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که درصدهای پایین بیـودیزل و اتانول تقریباً توانی برابر با سوخت دیـزل دارنـد و ایـن ممکـن اسـت به‌خاطر بهبود شـرایط احتـراق بـه‌واسـطه مولکـول‌هـای اکسـیژن‌دار بیودیزل و اتانول باشد و پایینی عدد ستان اتانول تا حدودی بـه‌خـاطر بالا بودن عدد ستان بیودیزل بهبود می‌یابد. اما بـه‌تـدریج بـا افـزایش غلظت این دو نوع سوخت در سوخت اخـتلاط یافتـه، ارزش گرمـایی پایین بیودیزل و اتانول و همچنین عدد ستان پایین اتـانول و چگـالی بالای بیودیزل بر مشخصه مفید این دو نوع سوخت یعنی بـالا بـودن میزان اکسیژن سوخت غلبه کرده و شرایط را برای کاهش توان فراهم می‌آورد.



شکل ۷– بهینه‌سازی متغیرهای مستقل به‌منظور حداکثر (الف) و حداقل (ب) نمودن گشتاور موتور و رابطه این متغیرها با گشتاور

Fig. 7. The optimum points of experimental variables to (a) maximize the specific fuel consumption and (b) minimize the torque of engine

نتیجه‌گیری

در این تحقیـق بـه بررسـی امکـان اسـتفاده از اخـتلاط مختلـف سوخت‌های دیزل- بیودیزل- اتانول در موتـور دیـزل پرداختـه شـد و تأثیر بار و سـرعت موتـور و همچنـین نسـبت‌هـای حجمـی مختلـف اختلاط سوخت‌های دیزل، بیودیزل و اتـانول بـر روی مشخصـه‌هـای عملکردی موتور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج ذیل به‌دست آمد؛

مدل‌های درجه دوم پیش‌بینی، برای تمام مشخصه‌های عملکردی (توان و گشتاور) در سطح یک درصد معنی‌دار شناخته شد، بـه‌طـوری که متغیرهای مستقل بار، سرعت موتور و نسبت‌های حجمی مختلـف بیودیزل و اتانول در سوخت اختلاط‌یافته به خوبی توانسـتند تغییـرات متغیرهای وابسته (سطوح پاسخ) را پیش‌بینی کنند.

با افزایش میزان درصد بیودیزل و اتانول توان ترمزی موتور نسبت به سوخت دیزل کاهش پیدا کرد و بیشترین میزان تـوان ترمـزی بـه میزان ۸۱ کیلو وات، برای سوخت دیـزل خـالص در بـار کامـل (۱۰۰ درصد) و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه به‌دست آمد.

سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_0E_0$) در سرعت ۱۶۳۰ دور بر دقیقـه و بار اعمالی ۱۰۰ درصد بیشترین میزان گشتاور (۳۲۵ نیـوتن متـر) را به‌خود اختصاص داد.

References

1. Al-Hassana, M., H. Mujafet, and M. Al-Shannagb. 2012. An Experimental Study on the Solubility of a Diesel-Ethanol Blend and on the Performance of a Diesel Engine Fueled with Diesel- Biodiesel - Ethanol Blends. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering 6: 147-153.
2. Bavafa, M., M. Tabasizadeh, A. Farzad, B. Ghobadian, and H. Eshghi. 2014. Effect of poultry fat oil biodiesel on tractor engine performance. Journal of Agricultural Machinery 6 (1): 14-24. (In Farsi).
3. Bettis, B. L., C. O. Peterson, D. L. Auld, D. J. Driscoll, and E. D. Peterson. 1982. Fuel characteristics of vegetable oil fromoil seed crops in the Pacific Northwest. Agronomy of Journal 74: 335-9.
4. Can, O., I. Celikten, and N. Usta. 2004. Effects of ethanol addition on performance and emission characteristics of a turbocharged indirect injection diesel engine running at different injection pressures. Energy Conversion and Manage 45: 29-2440.
5. Canakci, M., A. N. Ozsezen, E. Arcaklioglu, and A. Erdil. 2009. Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil. Expert Systems with Applications 36: 9268-80.
6. Carraretto, C., A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato, and S. Tonon. 2004. Biodiesel as alternative fuel: experimental analysis and energetic evaluations. Energy 29: 2195-211.
7. Castillo, E. D. 2007. PROCESS OPTIMIZATION: A Statistical Approach. New York: Springer.
8. Fatimah Abdul Halim, S., A. H. Kamaruddin, and W. J. N. Fernando. 2009. Continuous biosynthesis of biodiesel from waste cooking palm oil in a packed bed reactor: Optimization using response surface methodology (RSM) and mass transfer studies. Bioresource Technology 100: 710-6.
9. Hansen, A. C., and Q. Zhang. 2003. "Engine durability evaluation with E-diesel". Paper Number: 036033. In: An ASAE meeting presentation, Las Vegas, Nevada, USA, 27-30 July 2003 p. 13.
10. Kapilan, N., T. P. Ashok Babu, and R. P. Reddy. 2009. Technical aspects of biodiesel and its oxidation stability. International Journal of ChemTech Research CODEN (USA) IJCRGG 1 (2): 278-82.
11. Kaplan, C., R. Arslan, and A. Surmen. 2006. Performance characteristics of sunflowermethyl sters as biodiesel. Energy Source Part A, 28: 751-5.
12. Kass, M. D., J. F. Thomas, J. M. Storey, N. Domingo, J. Wade, and G. Kenreck. 2001. Emissions from a 5.9 liter diesel engine fueled with ethanol diesel blends. SAE Technical Paper, 01: 2018 (SP-1632).
13. Lapuerta, M., O. Armas, and R. Garcyıa-Gontreras. 2007. Stability of diesel–bioethanol blends for use in diesel engines. Fuel 86: 1351-1357.
14. Ozsezen, A. N., and M. Canakci. 2010. The emission analysis of an IDI diesel engine fueled with methyl ester of waste frying palm oil and its blends. Biomass and Bioenergy 34: 1870-1878.
15. Pang, X., Y. Mu, J. Yuan, and H. He. 2008. Carbonyl emission from ethanol-blended gasoline and biodiesel–ethanol–diesel used in engines. Atmospheric Environ- ment, 42: 1349-1358.
16. Pereira, P. A., E. T. S. Santos, T. F. Ferreira, and de J. B. Andrade. 1999. Determination of methanol and ethanol by gas chromatography following air sampling onto florisil cartridges and their concentrations at urban sites in the three largest cities in Brazil. Talanta 49: 245-252.
17. Rahimi, H., B. Ghobadian, T. Yusaf, Gh. Najafi, and M. Khatamifar. 2009. An environment-friendly IC engine fuel. Renewable Energy 34: 335-342.
18. Shi, X., Y. Yu, H. He, S. Shuai, J. Wang, and R. Li. 2005. Emission characteristics using methyl soyate–ethanol–diesel fuel blends on a diesel engine. Fuel 84: 1543-1549.
19. Usta, N. 2005. An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester. Energy Conversion and Management 46: 2373-86.
20. Utlu, Z., and M. S. Kocak. 2008. The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. Renewable Energy 33: 1936-41.
21. Zenouzi, A., B. Ghobadian, T. Tavakoli Hashjin, M. Feyzolahnejad, and H. Bagherpour. 2008. The effect of blending diesel and biodiesel from waste oils in engine performance compression ignition (CI). Journal of Combustion 1: 44-37.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 423-434

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۴۳۴-۴۲۳

Optimization Performance Indices of Diesterol Fuel in Diesel Engine by Response Surface Methodology

G. Khoobbakht[1*]

Received: 05-02-2017
Accepted: 06-06-2017

Introduction

Diesterol is a new specific term which denotes a mixture of fossil diesel fuel (D), vegetable oil methyl ester called biodiesel (B) and plant derived ethanol (E). Recently, much attention has been paid to the development of alternative fuels in order to meet the emission standards and to reduce the dependency on fossil fuel. Biodiesel and ethanol have been considered as major alternative fuels, as they are derived from renewable sources. These fuels are well oxygenated and therefore have a great potential to reduce emissions. Biodiesel is an oxygenated diesel fuel made from vegetable and animal fats by conversion of the triglyceride fats into esters via transesterification.

Materials and Methods

The engine test bed consisted of a diesel engine, a dynamometer, a gas analyzer and a fuel tank. The control bench also consisted of control units, data logger and a PC. Engine was loaded by a ferromagnetism dynamometer of 400 kW capacity and load was measured with spring balance. The experiments were designed using a statistical tool known as Design of Experiments (DoE) based on central composite rotatable design (CCRD) of response surface methodology (RSM) and the optimum points were found using RSM. Four experimental variables in the present study including the operating parameters, load and speed and the added volume of biodiesel and ethanol in one liter of diesel fuel were considered to be effective factors on the brake power and torque. Designs that can fit as a model must have at least three different levels in each variable. This is satisfied by central composite rotatable designs (CCRD), which have five levels per variable. The most successful and best among the designs is the central composite design which is accomplished by adding two experimental points along each coordinate axis at opposite sides of the origin and at a distance equal to the semi diagonal of the hyper cube of the factorial design and new extreme values (low and high) for each factor added in this design. In the present work, the response surface methodology based on desirability approach is used for the optimization of experiment parameters (load, speed, biodiesel and ethanol volume) for the measured properties of response (brake power and torque). The optimization analysis was carried out using SAS 9.2 software, where each response is transformed into a dimensionless desirability value (d) and it ranges between d = 0, which suggests that the response is completely unacceptable, and d = 1, which suggests that the response is more desirable.

Results and Discussion

The resultant quadratic models of the response surface methodology were helpful to predict the response parameters including the performance characteristics of engine and further to identify the significant interactions between the input factors on the responses. By increasing the amount of biodiesel, the brake power is reduced compared to diesel fuel. This is due to two factors: the first is concerned with the percentage of biodiesel in the fuel mix because of the low calorific value of biodiesel compared to diesel fuel, calorific value fuel mixture is reduced. On the other hand, due to the high viscosity of biodiesel than diesel fuel combined with an increase in these enhanced features and fuel atomization when spraying will be difficult. It is generally desirable outcome of these two factors have prevented the ignition and brake power somewhat reduced. Increasing the volume percent biodiesel fuel mixture to the engine braking torque is reduced diesel fuel engines in all working conditions. The reason for this decline is the low calorific value of biodiesel compared to diesel fuel. Also, by increasing the concentration of ethanol in the fuel mix engine braking torque is reduced. The reason for this decline in addition

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: gol.m1360@yahoo.com)

to the low calorific value of ethanol compared to diesel fuel may be related to cetane number and low latent heat of vaporization of ethanol.

Conclusions

The results depicted that low percentages of biodiesel and bioethanol into synthetic fuel also somewhat have same power and torque but increasing biodiesel and ethanol contents into synthetic fuel reduced power and torque. The maximum brake power (79 kW) occurred for the pure diesel fuel (equivalent to D100B0E0) at 2800 rpm and full load (100%) and the most brake power (325 N.m) occurred for the pure diesel fuel (equivalent to D100B0E0) at 1630 rpm and full load (100%).

Keywords: Biodiesel, Ethanol, Power, Torque, Response surface